

中国地震监测预报

40年 (1966~2006)

(下册)

主编 孙其政 吴书贵

地震出版社

邢台地震紀念碑

新华书店
PDG

中国地震监测预报 40 年

(1966 ~ 2006)

下 册

主编 孙其政 吴书贵

地 震 出 版 社

2007 年

目 录

(上 册)

第一篇 地震监测

第一章 地震监测信息系统的发展历程	(3)
第一节 地震观测系统的发展	(3)
第二节 地震前兆监测系统发展综述	(16)
第三节 地形变观测系统的发展	(22)
第四节 地电观测系统的发展	(35)
第五节 地磁观测系统的发展	(39)
第六节 地下流体观测系统的发展	(56)
第七节 地震信息通信系统	(62)
第二章 地震监测信息技术及其进步	(67)
第一节 地震观测技术	(67)
第二节 地磁观测技术	(101)
第三节 地电与电磁扰动观测技术	(109)
第四节 地壳形变观测技术	(117)
第五节 地下流体动态观测技术	(135)
第六节 地震前兆监测组网与公用技术	(140)
第七节 地震通信技术	(160)
第三章 地震监测信息网络及其布局	(170)
第一节 地震观测台网	(170)
第二节 地磁观测台网	(200)
第三节 地电观测台网	(209)
第四节 地形变观测台网	(218)
第五节 地下流体观测台(井)网	(232)
第六节 地震信息网络	(237)
第四章 地震监测信息的产出与共享	(243)
第一节 地震观测基本数据	(243)
第二节 地震前兆监测数据	(251)
第三节 地震信息共享服务	(254)
第五章 地震监测环境与台站建设	(259)
第一节 地震监测环境保护	(259)
第二节 地震监测台站辅助设施	(264)
第三节 地震监测台站建设	(266)

第六章 重要科技攻关与工程建设项目	(270)
第一节 区域电信传输地震台网观测分析处理系统(768工程)	(270)
第二节 全国地震数据分析处理系统(837工程)	(275)
第三节 地震监测台站基础设施和监测环境优化改造	(278)
第四节 数字地震与前兆观测试验系统的研制(85-907)	(283)
第五节 中短期地震前兆仪器研制与实用化研究(95-04-02)	(285)
第六节 中国数字地震观测系统建设和地震前兆台站(网)技术改造(95-01)	(289)
第七节 全国地震通信网络系统建设与完善(95-02-01)	(293)
第八节 中国地壳运动观测网络(“九五”国家重大科学工程)	(299)
第九节 首都圈防震减灾示范区工程技术系统建设	(305)
第十节 新型地震前兆监测仪器研制	(319)
第十一节 中国数字地震观测网络工程	(323)
第十二节 国家科技基础条件平台建设	(327)
第七章 地震监测为经济建设与国防建设服务	(336)
第一节 地震核查	(336)
第二节 水库地震监测	(338)
第三节 火山监测	(342)
第四节 油田地震活动监测	(343)
第五节 地磁测量	(344)

第二篇 地震预测预报

第一章 地震预测预报实践回顾	(349)
第一节 我国地震活动和地震灾害的基本背景	(349)
第二节 地震预测预报的提出与准备	(350)
第三节 地震预测预报的广泛实践	(353)
第四节 地震预测预报的稳步发展	(359)
第五节 地震预测预报的深化探索	(363)
第六节 地震群测群防工作	(368)
第七节 地震预测预报工作的主要成就	(380)
第二章 地震预测的科学思路	(388)
第一节 地震成因研究历史	(388)
第二节 震源孕育和地震前兆模式	(391)
第三节 渐进式地震预报	(399)
第四节 块、带、源、兆——协同分析预报	(402)
第五节 地震预报的途径与方法	(409)
第六节 地震综合预报	(412)
第三章 地震预测分析方法及其发展	(415)
第一节 地震学预测分析方法	(415)
第二节 地震与地形变/地应力/重力相关性分析方法	(427)
第三节 地震与地磁/地电/电磁扰动与辐射相关性分析方法	(433)
第四节 地震与地下流体物理化学动态相关性分析方法	(441)

第五节 综合分析方法	(445)
第六节 群测群防常用的前兆分析方法	(451)

(下 册)

第四章 重要科技攻关项目	(453)
第一节 地震监测与预报方法清理研究	(453)
第二节 地震预报方法实用化攻关研究	(455)
第三节 短临预报方法及理论攻关研究	(459)
第四节 强地震中短期(一年尺度)预报技术研究	(462)
第五节 大陆强震机理与预测研究(1998~2003)	(468)
第六节 强地震短期预测方法和物理基础研究	(473)
第七节 中国地震震例研究	(481)
第八节 现代化震情分析会商系统建设	(486)
第五章 地震预测预报实验场	(490)
第一节 概述	(490)
第二节 几个实验场的实施与进展	(491)
第三节 经验教训	(506)
第六章 地震现场监测预报	(510)
第一节 国内地震现场工作部分实例	(510)
第二节 震后趋势与地震类型判定的一些问题的讨论	(555)
第三节 国外地震现场工作	(571)
第七章 典型地震预测预报事件解读	(581)
第一节 海城地震	(581)
第二节 松潘地震	(585)
第三节 唐山地震	(595)
第四节 丽江地震	(608)
第五节 唐山、海城、龙陵、松潘等大震异常特征的对比分析	(616)
第六节 几次大震在地震预测预报研究中的意义与价值	(620)
第七节 地震前兆复杂性的讨论	(625)
第八节 政府的综合决策是有效减轻地震灾害的关键	(630)

第三篇 地震监测预报综合管理

第一章 地震工作体制与机构	(635)
第一节 地震工作体制沿革	(635)
第二节 中国地震工作机构沿革	(637)
第二章 地震监测预报工作法制化建设	(659)
第一节 法律法规与部门建章立制	(659)
第二节 业务工作制度	(683)

第三节	科技行为规准	(697)
第四节	辅助管理与业务协调组织	(718)
第三章	发展规划（地震监测预报部分摘编）	(724)
第一节	1956 ~ 1967 年全国科学技术发展规划（地震部分）	(724)
第二节	1970 ~ 1974 年全国地震工作五年规划	(725)
第三节	1978 ~ 1985 年全国地震工作发展规划纲要（草案）	(727)
第四节	1981 ~ 1990 年全国地震科学工作长远计划要点（草案）	(732)
第五节	1986 ~ 1990 年地震重点工作发展规划纲要（草案）	(734)
第六节	地震事业发展十年规划和“八五”计划纲要	(737)
第七节	国家地震局事业发展“九五”规划和重点项目计划	(740)
第八节	中国地震局事业发展“十五”计划纲要	(744)
第九节	国家防震减灾规划（2006 ~ 2020 年）	(746)
第十节	中国地震局“十一五”事业发展规划纲要	(750)
第十一节	地震科学技术发展规划（2006 ~ 2020 年）	(753)
第四章	地震监测预报科技成果	(762)
第一节	全国科学大会奖	(762)
第二节	国家级科技成果奖	(763)
第三节	中国地震局科技成果奖	(765)
第四节	省级科技进步奖	(794)
第五节	其他奖励	(796)
第五章	国际交流与合作	(798)
第一节	中国与亚洲有关国家双边合作与交流	(798)
第二节	中国与非洲有关国家双边合作与交流	(806)
第三节	中国与澳洲有关国家双边合作与交流	(807)
第四节	中国与欧洲有关国家双边合作与交流	(808)
第五节	中国与美洲有关国家双边合作与交流	(816)
第六节	中国与美国双边合作与交流	(818)
第七节	中国与相关国际组织间的合作与交流	(825)
第六章	人才与队伍建设	(837)
第一节	激励政策	(837)
第二节	专业培训	(846)
第三节	人员与机构	(855)
附录 1	港澳地震工作机构	(864)
附录 2	台湾地区地震观测预测研究	(866)
附录 3	中国地震学会及其各分支机构构成一览表	(891)
附录 4	我国科学家在主要国际性学术组织与期刊任职情况	(892)
附录 5	《中国震例》目录	(895)
附录 6	常用地震前兆测项代码、量纲与单位、数据格式	(900)
附录 7	地震监测预报大事记	(904)
参考文献		(945)

第四章 重要科技攻关项目

地震监测预测,其开展以观测为基础,其进步以不断增强科学技术含量并提升其水平为重要依托。我国地震工作历来重视开展深入的科学研究、开发和引进先进技术,特别是经历了20世纪60~70年代我国地震活动的10年高潮期之后,中国地震局系统地组织并开展许多科技研究攻关项目。其中,规模或影响较大的是:地震监测与预报方法清理研究;地震预报方法实用化攻关研究;短临预报方法及理论攻关研究;强地震中短期(一年尺度)预报技术研究;大陆强震机理与预测研究(1998~2003);强地震短期预测方法研究;强地震短期预测的物理基础研究;中国地震震例研究;现代化震情分析会商系统建设。以下逐一介绍。

第一节 地震监测与预报方法清理研究

1966~1976年地震活动高潮时段过后,就地震监测和预测而言,人们认识到,地震预报的监测和预测面临几个突出的问题有待解决。首先是如何识别和排除各种干扰,因为地震预报水平的提高是随着对于干扰因素认识的深化而不断提高的;其次要设法寻找反映地震前兆的“灵敏点”和“优化”观测方法,一些大样品模拟实验表明,同一试件中不同区域的反应可以有很大差别;第三要弄清不同地质构造条件下,不同等级地震的异常的对应范围,这对地点预报至关重要;第四要研究不同类型地震长、中、短、临前兆的判据,这是一项战略性的任务。

总体而言,通过清理与研究,不仅期望提高现有的监测能力与预报水平,而且能选出一些“灵敏点”,改善台网布局结构,确定一批科技攻关的课题,为编制科技长远规划奠定基础。

一、主要内容

1. 主要目的

- ①提高识别和排除各种干扰因素的水平。
- ②寻找反映地震前兆的“灵敏点”和“优化”观测方法。
- ③弄清不同地质构造条件下,不同等级地震的异常的对应范围,提高预报地震地点水平。
- ④研究不同类型地震长、中、短、临前兆的判据,完善渐进式地震预报思路。

2. 基本内容

在1983年5月召开的“地震科研攻关会议”上,国家地震局确定地震监测与预报方法的清理研究内容,包括各类前兆方法的清理,共计有地震活动性、地形变、水位、水化、重力、地电、地磁、地应力和综合分析等9类。清理攻关研究内容,涉及到从观测台址的环境条件、观测仪器的精度和稳定性、观测资料的可靠性、前兆异常的落实、预报方法的科学思路,直到对预报能力进行全面的测试或检验、校核落实或科学评价。具体的清理内容为以下4个方面:

①观测仪器的评价,即仪器参数、所测物理量,各类仪器的对比、稳定性、抗干扰性能,提高观测精度的方法等。

②观测条件的调查和清理,如台站水文地质条件、岩性,环境干扰源、最佳观测条件,相应的野外与室内对比试验等。

③观测信息的处理,如干扰因素的典型图像与识别方法,频谱分析与卓越周期的研究,各种测量方法的试验等。

④监测与预报能力的评价,如现有预报方法的依据与科学思路,震例(包括正例与反例)剖析,预

报效能的评价等。

二、实施过程

地震监测与预报方法清理研究项目于1983~1985年实施。1983年,国家地震局科技监测司根据局工作会议和地震科学技术攻关会议的精神,在该项目中安排了99个地震监测科研重点项目和9个重点攻关项目,组织动员了省、直辖市、自治区地震局(办)及直属中心、研究所共27个单位的2200多人参加。各级领导和广大科技人员广泛参与并极为重视该项目实施。

地震监测与预报方法清理研究项目的工作程序是:首先分单项进行系统的清理研究,在此基础上针对各类专题撰写成论文或工作报告;然后分单项进行交流和评比,并对各单项的总报告进行横向交流与评比;最后,组织有关人员将清理中有价值的成果按统一要求进行编纂,汇集成册陆续出版。

1. 综合分析预报

地震综合分析预报的系统清理研究,成立了攻关组具体组织实施,由国家地震局分析预报中心牵头。自1983年3月开始至1985年12月完成全部工作。参加单位有18个省、直辖市、自治区地震局和研究机构,参加者共有248人。先后完成各种综合和专题研究报告及工作报告160余篇。

2. 地震活动性

1983年3~5月,组织了两轮工作方案的论证,分别成立了各类方法的清理攻关领导小组。1983年6月下旬在福州正式制订了工作计划,国家地震局科技司对工作提出了明确的要求。在会上确定各地区统一需要清理的必做项目为:空区、条带、相关性、“窗口”效应、诱发前震、地震序列特征(衰减)等。这6项以外的其他内容作为各单位的自选项目,不受限制。1984年10月9~14日在重庆召开了清理成果学术交流会。在会上宣读的报告有105篇,其中提交出书面报告的为101篇。

3. 地下水

1983年5月分别组成了水文地球化学和地下水位动态清理攻关组。此后,动员了从事地下水监测预报工作的专业人员300余人,进行了近两年的清理工作。1984年下半年进行了学术交流,并对取得的成果进行了评比。这些成果对地下水方法的观测仪器、观测技术和观测条件、干扰因素、震例及预报效能、前兆机理与实验研究等各方面进行了系统清理和深入总结,比较全面地反映了多年来我国利用地下水方法进行地震监测预报所取得的进展。

4. 地磁、地电

1983年6月成立了本领域的清理研究工作领导小组,组织有关专业人员,对利用地磁、地电方法监测预报地震的科学思路、观测技术、台址条件、干扰因素、预报效能和观测资料的质量进行了全面清理,编写了各专题的研究报告。地磁专业组织了270位专业人员参加了清理工作,地电专业组织了国家地震局所属21个单位、116个地电台站450余人参加清理工作。

5. 重力、地倾斜、地应力

根据国家地震局1983年关于地震前兆清理攻关研究的统一部署和要求,分别组成了重力、地倾斜、地应力清理攻关小组,组织了从事重力、地倾斜、地应力监测预报研究工作的专业人员400余人,从观测条件、观测仪器、干扰因素的排除、观测信息的提取、震例与预报效能等方面进行了全面、系统的清理研究,并编写了各种专题清理研究报告。1984年下半年先后进行了学术交流;1985年初对取得的成果进行了评定。成果基本反映上述清理攻关研究的重要成果和多年来利用上述方法进行地震预测预报方面的主要进展。同时,也从不同方面揭示了目前存在的许多问题,为今后地震科研攻关奠定了一定的基础。

三、主要成果

总的看,地震监测与预报方法清理研究工作达到了预期目的,明确了存在的主要问题和今后攻关的方向、课题,为进一步开展地震前兆和预报方法的攻关研究奠定了良好的基础。对地震活动性、大地形变测量、地倾斜、重力、水位、水化、地磁、地电、地应力9个学科方法预报地震的理论与观测基础、方法效

能做出评价。地震综合预报作为第 10 个项目纳入了清理攻关的总体计划。

除地震活动性外,对 7 种手段的 55 种观测仪器进行了同类仪器的对比观测与实验评议;按各种手段计算,共清理了 896 台次和 3200 个流动测量网点,数据量达到 1160 万个;从观测仪器、台网布局、台站条件、干扰因素、资料质量、分析方法、震例与前兆、预报指标、方法与效能等方面进行了系统的研究。

通过此项工作,共提交成果 876 篇论文、报告,以 9 个专辑出版。

综合分析预报:先后完成各种综合和专题研究报告及工作报告 160 余篇。

地震活动前兆:提交出书面报告 101 篇。

地下水:编写了各专题的研究报告,在此基础上,将有关成果汇编成册,按水文地球化学和地下水动态两部分,共收编论文 40 余篇。

地磁、地电:分为地磁、地电两部分汇编了分册。其中地磁专业提出工作报告或论文 66 篇,总计字数 66 万字左右。为了便于读者了解全貌,在此基础上,编辑组写了 8 篇汇总文章,在文章的附录中列出了“1983~1984 年地磁清理成果报告目录”。地电专业写出了有一定学术价值的论文 80 余篇,在此基础上精选了其中的 24 篇编入文集。

重力、地倾斜、地应力:编写了各种专题清理研究报告,在此基础上,从中选取了部分研究成果汇编成册,重力与固体潮、地倾斜、地应力三部分共收编论文 45 篇。

鉴于地震前兆现象相当复杂,地震预报科学仍处在探索阶段,还要走很长的路。诸如如何识别和排除干扰,特别是有的震例总结及其分析研究仍处在初级阶段,有关论文仅作抛砖引玉,供今后深入攻关研究时参考。

第二节 地震预报方法实用化攻关研究

国家地震局组织 1983~1985 年地震前兆与预报方法的系统清理研究工作后,经过一年的酝酿准备,决定在 1987~1989 年开展地震前兆预报方法的实用化研究。

地震前兆预报方法实用化攻关研究的宗旨是:针对当前地震预报尚处于经验性预报为主阶段的特点,将在实践中积累的大量经验系统化,编制成科学化、程序化和指标化的地震预报工作程序,并经过严格筛选和科学统计、提炼,总结出地震预报的多种判据和指标,建立起相应的地震预测方法。实用化攻关研究侧重解决预报经验的继承、应用和发展问题;“实用”的含义,不是指应用了就能报出地震,而是指在现阶段分析预报工作应该做些什么、怎么做。这个问题是根据分析预报工作的现状提出来的,是 1983~1985 年清理的继续和研究的深入。

一、主要内容

1. 基本目的

(1) 将预报经验系统化并进行科学论证。

根据 20 年来各级地震部门的预报实践,对各种资料处理方法、软件程序的设计、干扰因素的排除及异常的判别方法等进行深入的研究和认真的筛选,提出一种或几种可供选择的实用方法,制定出各前兆手段、综合预报方法和适用于分析预报工作的一套技术规范。

(2) 对中强以上地震和震情事件进行再研究。

对 20 年来在监测台网内发生的一系列中强以上地震和震情事件继续进行深入的再研究,着重研究不同地区、不同类型地震前兆的共性表现与差异,地震前兆与无震异常的区别,以提出各前兆手段和综合的试用性预报方法、判据和指标,同时要给出用其进行预报可望获得成功的概率估计。

(3) 系统调研各有关学科方法研究的进展和动向。

对国内外 80 年代以来各学科方法研究的进展和发展动向作系统的调研与评论,在此基础上,提出下一阶段攻关目标和课题。

2. 内容要求

1987~1988年作为攻关的第一阶段,拟在前几年各学科方法和综合预报方法清理研究的基础上,以推进地震科研成果在震情分析、判断中的应用为重点,组织一部分骨干科技人员,对当前在地震预报中使用较多的一些学科方法和综合预报方法进行攻关研究,以便使各级地震部门的分析预报工作进一步条理化、规范化,增强震情分析判断的科学性,争取在由经验预报向物理为基础的概率性预报过渡的道路上向前迈进一步。

(1) 攻关重点是预报方法的对策性、实用性研究。

这次攻关工作的重点是预报方法的对策性、实用性研究,对所提出的分析预报工作的技术规范和预报方法、判据、指标,均应从物理上和资料、实例等方面作充分的论证。所提交的成果应附可说明其结论的必要资料、图件。

(2) 攻关以中短临预报尤其短临预报为主。

这次预报方法的攻关以中短临预报尤其短临预报为主,每个专业或学科方法要根据其在地震预报中可能发挥的作用和特长,从年度会商的中期预报到几个月、几天的短临预报,分层次地提出各自的预报方法、指标、判据。综合预报的攻关研究不能只限于对现有经验的归纳、整理,要努力寻求单项前兆信息之间内在的物理联系,采用系统科学的新技术、新理论,探索、开拓综合预报的新途径,提出新的试用性的综合预报方法。

(3) 攻关研究忌重复“炒冷饭”。

各专业或学科方法的攻关研究,切忌将过去清理的结果拿出来“炒冷饭”。要从正、反两方面入手,给出较令人信服的论证,鉴于在清理阶段多数学科方法对无震异常的情况研究得较薄弱,这次攻关应加强无震异常的研究,努力探索地震前兆与无震异常的区别。这次攻关与过去清理研究的主要不同点,就在于不是仅仅总结地震发生之后有什么异常,而是立足于实用,强调震前的预报,强调对观测到的资料数据如何处理,如何发现、识别异常,对异常性质又如何判别,其前兆信息有多大的可信度,用其预报地震三要素(或其一)可望成功的概率估计等。

(4) 攻关研究提倡新思想、新方法。

攻关研究提倡新思想、新方法,切忌一般化,鼓励开创性的研究。为此,各专业或学科方法攻关课题组注意改善研究成员的人才结构,以适应攻关任务的要求,积极倡导和支持学科交叉和相互渗透;各攻关组欢迎别的学科有创见精神的同事参加本学科方法的攻关,吸收他人之长,弥补自己之不足;同时注意吸收原侧重于理论基础研究的科研人员和思路敏捷的年轻人参加。

二、实施过程

实用化攻关研究工作是国家地震局成立以来投入力量较大的几个重大科技项目之一。国家地震局系统除工程力学研究所外,37个单位及局外系统7个单位都参加了这项工作,科技人员达873人,其中高级科技人员199人。

国家地震局成立了由14人组成的“地震前兆方法攻关领导小组”(简称“攻关领导小组”)。下设地震学、定点形变,大地形变测量、地下水位、水文地球化学、重力、地电、地磁8个专业学科方法及综合预报方法的攻关学术领导小组(简称攻关组)。攻关组的主要任务是:

①根据攻关的总目标和具体要求,向国家地震局提出本专业或学科攻关课题安排的建议,并协助做好攻关的组织协调工作。

②负责审查本专业或学科各级课题的科学思路、技术途径及进度安排,组织本专业或学科攻关工作交流和学术交流。

③了解各参加单位的课题进度,负责向国家地震局报告攻关的进展情况,并提交最终研究报告。

1987年初,国家地震局成立了8个学科和综合预报方法的学术领导小组,明确了任务,拟定了41项二级课题和99项三级课题。攻关组、课题组广泛听取各单位其他技科人员,尤其是在分析预报一线工作的科技人员的意见,注意吸收他们的好思想、好经验。没有承担国家地震局下达攻关课题的单位,从全局

出发积极配合做好工作，积极向承担攻关任务单位提供必要资料。

三、主要成果

综观这次为时两年多的实用化研究成果，这是 20 年来我国预报经验的大总结，是我国第一代地震预报科学工作者给后人留下的宝贵财富，是对迎接下一个地震高潮期的最重要的技术准备工作，对推进我国地震预报工作走向实用化具有重要意义。可以将其科研进展概括为以下 5 个方面：

(1) 预报经验系统化，制定 10 个学科方法分析预报工作程式指南。

20 年来，上万名分析预报人员从实践中积累了许多经验，但是以往比较分散、零碎，且优劣难分，没有形成系统。经过此次严格筛选、科学论证，使预报经验系统化，而且编写了程式化的指南，利于积累的有用经验广泛应用起来，这对预报水平的提高无疑将会起到很好作用。

在系统整理地震预报的科学思路的基础上，10 个学科方法都依照分析预报工作的各个环节，从观测资料的预处理、干扰排除、前兆信息提取、异常识别到预报指标判据、预报方法的运用、提出三要素的预测意见、每个步骤应当做什么、怎样做都提出了明确的建议和方法。

譬如地震学，对过去使用的 30 多种方法进行了科学论证和精心筛选，从中归纳出检验效果好、实用性强的 6 大类 20 多种预报方法（参数），推荐给分析人员。这些方法包括：空间图像法（空区、条带， b 值…），时间进程法（缺震、 $\sqrt{E}$ 值、 N 值、增强密集……），地震序列法（ b 值、余震、 h 值、 U 值、群震、前震……），地震相关法，震源及介质参数法，合成法（模式识别、模糊合成、模型概率……）。这样，就把过去分散的个体经验、把感性直观经验转化为客观定量的统计判断。同时对上述各方法的分析对象、物理依据、应用范围条件以及效能评估都做了科学的论述，为推进分析科学化、规范化打下了坚实基础。

综合判定震情是各级分析预报部门最主要的工作环节。20 年来，我国已形成具有自己特色的综合预报方法。在这次攻关研究中，综合预报方法确定出了全面、系统的工作程序：按照地震形势预测、年度中期预报、短期预报、临震预报及震后预报 5 个阶段，明确了各阶段的工作目标、工作内容、资料图件准备、异常分析，以及综合判据指标与三要素判定的依据，为分析预报人员提供具有可操作性的整套方法。

(2) 研制 10 个学科方法软件程序，促进分析预报工作计算机化。

“实用化”是这两年研究工作的中心，10 个学科方法都研制了相应的软件程序，为分析预报的定量化、计算机化提供了新的起点。有相当一部分计算技术人员紧密联系预报实际，为分析预报的每个环节研制了不同性能的大小软件 600 余个。经过专家验收，发现了一批处理能力强、技术难度大、可移植性好的优秀软件，有的软件图形图像独具特色，达到了世界先进水平。

例如，大地测量学科由于固有的性质，各种计算相当复杂而且程序编制或链接的难度也很大，这次攻关吸收了国内外先进经验，提出了 18 种计算垂直形变网和水平形变网平差的方法并全部计算机程序化，大大提高了资料处理的精度和质量。

再如，水化、水位、地电、地磁等学科的震例多、经验多，通过大量统计提炼出不同地区不同震级的判据指标。从原始资料处理到最后提出三要素的判定意见，全部计算机化，同时给出信度值。

(3) 新理论、新方法受到广泛重视和应用。

从科学思路的再研究、再认识出发，吸收先进的新理论，改进固有的研究思路和研究方法，采用新的概念和最新科研成果认识地震孕育发生的规律，更深刻地认识地震前兆的复杂性，这是实用化研究的一大特点。

如地震学和综合预报方法是应用分形理论比较活跃的领域，研究者认为地球表面的断裂系统是自相似的，它就是一种分形；地震序列 b 值在时间上和空间上的分布也具有某种“准自相似性”，也可以用分数维来描述。分形理论与现代关于非线性复杂系统的其他新学说（例如耗散结构论、协同学、突变论、混沌理论等）一样，可以促使人们得到地震和地震预报的新认识。地电学使用信息分配原理，根据我国 324 组地电阻率 5 日均值异常资料，建立了震级 M 、震中矩 R 和发展时间 t 与地电阻率异常幅度、异常时间 T 的模糊关系，用模糊近似推理及信息集中原理做出三要素预报，将模糊信息处理法正式作为分析预报的一

项必做工作引入指南。

(4) 发现了一些新的前兆信息,研究了新的预报方法。

这次实用化研究对过去正反震例做了系统的再研究,不少学科又有新的发现。

地震学,利用计算机按照不同空间尺度和时间步长对各种因子做了大面积的扫描,对空区、条带、地震序列等从科学认识上又提出了 39 条新的认识,有不少是属于首创的。这些新的认识为开发震兆信息和探索新的预报方法提供了条件。

重力学,在潮汐信息提取上,对过去使用的 6 个版本进行了详细对比,最后确定以国际上公布的最新参数统一计算方法结束了一种资料多种结果的混乱局面。与此同时,还重点开发了过去所没有利用的非潮汐信息——利用新设计的滤波器,取得了很好的重力高频非潮汐信息。采用零位反馈技术,把叠加在潮汐曲线上反映地壳脉动的重力高频信息加以专门放大和监测。应用数字采集和随机信息处理方法,研究震前地壳脉动异常与地震的关系也取得了明显的效果。

综合预报方法,通过这次实用化研究,结束了过去“拼盘”的简单相加的被动局面,从研制的七八种综合预报方法中郑重推荐 4 种方法——综合计算预报的计算机系统、积分法、模糊综合法、模式识别法及综合专家系统。为综合统计检验、评分评判提出了简易精确的评价方法,为今后发展综合预报、提高整体预报水平打下了一定基础。

需要强调的是,地磁在短周期转换函数、定点形变的潮汐 γ 因子,以及水位水化单井、群孔的异常等研究方面,都提出了一些以预报“短临时间”为主的新的预报方法,检验效果较好,为短临预报开拓了一些新路子。

(5) 跟踪 20 世纪 80 年代以来国际趋势,提出新设想和具体课题。

这次实用化研究是在过去系统清理研究基础上的再研究,必须掌握国内外研究的新动向,跟踪新技术、新理论的发展。

①地电学科。系统研究对比了苏联、日本、美国等在地电预报方面的特色和经验之后,提出我国近期和较长远的深入攻关设想和 5 项课题建议——即加快数据库建设、观测系统自动化现代化建设、数值模拟理论方法研究、大尺度现场综合试验及新方法、新参数(交流电法,深部电阻率,大地电磁测深、介质极化率等新的电性参数)的观测试验。

②地震学。研究人员计划将地震孕育过程作为一个开放系统,从耗散结构和协同论的基本原理和方法出发,寻找定量描述地震活动状态由无序转向有序的序参量。通过对大量实际地震资料的分析,确定判断大地震发生前序参量的临界值,以及判定不稳定有序态的指标。为此,要系统开展全国各主要地震区带的地震活动时空分布的分形与分维结构特征的研究,探索震前可能存在的混沌吸引子,发展新的中期尺度的预报方法。最大信息原理、临近不稳定点的信息、信息增益以及 S 波分裂等都是值得研究的重要课题。

③大地测量学科。查阅了国内外 500 多篇论文摘要,翻译了 20 多篇有代表性的论文,提出了加速全球定位系统空间技术、航空遥感技术的应用,开展四维及动态整体大地形变测量研究等新的前沿课题。

④综合预报。这是世界各国都在积极追求的一门新的交叉学科,在对比了美、日、苏等国家开展的地震前兆、孕震理论、预报方法以及实验场综合观测的特色之后,提出了狠抓震情判断的两个“过渡”的战略目标,即从地震形势预测向年度中期预报过渡,从中期预报向短临预报过渡。同时结合综合预报实验场和强震危险区开展综合观测、综合研究、综合预报的物理基础研究,建立以中国板内地震为特色的地震预报专家系统。

⑤实用化攻关研究。共获得各种科研报告、学术论文 518 余篇,各类实用化计算机软件程序 654 个。9 个学科方法和地震综合预报方法都编写了相应的分析预报指南。在 10 个学科方法实用化攻关研究成果试用推广的基础上,1988 年 9 月国家地震局科技司出版了《中国地震分析预报方法指南》、《中国震例》。

本着“边研究,边应用”的原则,本项研究使得日常的监视预报工作中不断增添新的判据,从而使震情判断水平逐年有所提高;虚报率有所降低,正确判断的比例逐渐改善。

综上所述,两年来的实用化研究效果是明显的,它不但为我国已进入一个新的强震活跃期做了很好的技术准备,有助于消除地震预报中的主观随意性,增加科学性、客观性,有助于经验的充分发挥和采取正

确的地震对策,而且在广泛应用《指南》、完善《指南》中提出的新问题,有助于今后地震理论工作的深化。这是我国 20 年来预报经验的系统总结,也是给后人留下的一批宝贵科学财富。由于时间有限,在实际经验的深化、理论研究以及机制实验方面做得还很不够。应当在实用化研究的基础上继续准备,选准地震预报发展的科学问题,组织好科技人员运用当代的新理论、新方法,下大力气攻关研究。

攻关成果在于应用,项目结束后,国家地震局分阶段、先重点地区后一般地区,有步骤地进行培训和普及推广。推广内容注重了经过检验确实有效、比较成熟的方法。

各学科方法发展不平衡,深度、广度都有差别,有些学科的潜力发掘尚嫌不够,有些手段的监测震例太少,难做出评分。

对基本场的研究不足,在整个背景上提出来的这样一个问题,可能研究得还不够。从正常场中提出的一个很微弱的信息,信息量的估计、信息量可信程度的估计,都还研究得不够。

这次所提出的成果或指标判据,更多的是表现在中期和短期上,而在临震方面比较少。另外,总的说来这些全国的、大面积上的有些东西,对省地震局来说显得比较粗。

有些方法做了展望性的检验,但还有相当一部分学科还没有做展望性的检验,基本上还是回顾性的检验。各学科从震例总结中提取出来了许多干扰排除方法、异常识别法、信度评价法、概率估计法、效能评价法等,但是评价不够,没有优选,有些达十几种之多。方法很多,如果没有一个综合的办法,方法越多越麻烦,而且各学科概率估计、信度的定义都不一样,方法不同结果更不可能一样。如何综合有关科学方法组合,使其概率估计、信度评价统一,应当请概率和统计领域的专家审定。

10 个学科方法相互之间的联系还不够。

第三节 短临预报方法及理论攻关研究

该课题的全称是:“短临预报方法及理论攻关研究——华北北部地震短临预报方法、前兆综合解释模型及短临预报综合判别系统”,它是国家“八五”科技攻关项目“地震、地质灾害和城市减灾重大技术方法研究”的课题之三,其课题的计划代码是(85-907-3)。

本文所指的“华北北部”,系指以北京为中心,包括天津、唐山、张家口等的京津唐张地区,是我国政治、经济、文化中心,人口稠密、经济发达、大中城市集中。该区又是我国华北地震区中的燕山地震带,地质构造复杂,地震活动强烈,历史上屡遭强震袭击,地震灾害严重;特别是 1976 年唐山大震,惨绝人寰、震惊世界。

根据多年来地震研究结果,20 世纪 90 年代至 21 世纪初,将是我国大陆地区的一个新的地震活跃期,其中华北北部是新活跃期中的重点地震危险区之一。当时预测,燕山中西段的北京至晋冀蒙三省交界地区,自 1989 年大同 6.1 级地震之后,也将进入中强以上地震活跃的时段。因此,深入开展本区地震短临预报研究,提高地震短临预报科学水平,不仅在政治、经济和社会影响上具有十分重要的意义,而且也将发展我国地震预报、推动地震科学进步上迈出重要的一步。

在华北北部重点地震危险区,即 $39^{\circ} \sim 41^{\circ}\text{N}$ 、 $114^{\circ} \sim 117^{\circ}\text{E}$ 范围内,通过全面系统的中强以上地震的震例分析,深入研究本区不同强度地震的前兆标志和短临预报方法,初步建立强震孕育和前兆综合解释模型,研制成适用性较强的短临预报计算机综合判别系统,以期使我国的短临地震预报技术和对地震孕育、前兆机理的规律性认识水平有一个较明显的提高。

一、主要内容

1. 项目的总目标

(1) 采用新理论、新思路系统地研究各项观测资料,提出多种判定地震活动、地球物理、地球化学、地壳形变等异常的新方法;开拓并发展短临预报技术,研究并提出新的地震前兆信息;建立不同震级、不同地区多层次且具有明确物理内涵的综合短临及中期(1~3 年)前兆标志体系,并研制相应的实用计算机软件程序。

(2) 加强地震孕育演化全过程及相应的多种前兆物理机制的综合研究, 深化对强震孕育发生的物理本质及地震前兆总体特征的认识, 提出一种或多种中、短、前兆的综合解释物理模型, 初步建立具有中国板内地震特色的理论模式。

(3) 建立适用于华北北部地区的地震综合前兆数据库、知识库以及新的短临预报计算机综合判别系统(即短临预报专家系统)。其方法与结构能在全中国其他重点地区推广应用。

(4) 边研究、边应用、边检验, 力争对此期间可能发生的几次破坏性地震做出有显著社会效益的预报。

2. 专题设置

有两方面“攻关”性研究内容。其一是对我国, 尤其是华北北部 30 年来地震预报经验、大量地震震例、地震预报方法和前兆资料的总结、清理、提炼、提高的系统研究。并把研究结果直接用于当前的地震预报, 以充分、全面、科学、合理地应用我们几十年积累的经验、认识和多方面成果, 尽可能提高当前的地震预报水平, 为防震减灾服务。另一方面, 研究还包含着一系列理论、实验和模型等基础性(应用基础)的研究, 为揭示地震孕育和发生的内在规律, 为从根本上突破地震预报科学难关做好科学的积累。

共设置四个专题, 分别为:

(1) 地震前兆判定方法与短临预报指标系统的研究。

建立华北北部地区各种前兆方法的短临预报阶段的异常判据、预报指标体系, 提供有明确物理内涵、实用性较强的短临(半年时间内)预报方法及相应的实用化软件系统。

(2) 地震序列的动态追踪研究和新的短临预报方法的研究。

①提出适用于本区的、具有一定物理基础的前震和前震序列判别指标及实用性软件包, 从而显著提高有前兆和前兆序列的大地震的报准率。

②提出 1~2 种预报期在 6 个月以内, 有一定物理内涵的短期地震活动性前兆指标、方法和实用性软件包。

③发展地震序列类型早期(震后 7 天以内)判定方法、指标, 提出预报后续显著地震的强度和时间的办法, 精度分别为 ± 0.5 级和 ± 3 天。

④建立本区电磁波辐射、断层气变化与地热辐射变化中干扰排除和异常信息提取方法, 给出在短临预报阶段相应手段的前兆判据、预报指标和预报方法, 给出单项预报效能以及实用化预报程式和相应软件程序包。

⑤从非线性科学角度, 对地震的可预报性问题做出有明确物理含义的回答。

(3) 华北北部地震前兆综合解释模型的研究。

给出适合本区特点的地震前兆机理, 形成可应用于实际前兆观测的前兆综合解释模型, 并可通过本区各类前兆时空分布的预测加以检验。

(4) 华北北部短临预报综合判别系统的研究。

建立一个有一定理论知识, 推理系统具有自学习、自完善功能, 适用于本地区的地震短临预报的计算机综合判别系统。

二、实施过程

国家地震局于 1991 年 11 月下达了“关于组织实施地震短临预报方法及理论深入攻关研究的通知”, 将国家科委“八五”攻关和国家地震局“八五”计划中有关地震预报研究的项目课题统一组织。

在执行过程中, 为完成项目的攻关任务, 国家地震局组织了所属的局分析预报中心、地球物理研究所、地质研究所、地壳应力研究所、第一测量中心、河北省地震局、天津市地震局、陕西省地震局等 8 个单位共 120 多名科研人员参加了本课题所属的 4 个专题、31 个子专题的研究工作。其中研究员 21 名, 副研究员 50 多名。通过全体参加者的通力工作, 较好地完成了各专题、子专题的研究工作。

三、主要成果

研究人员针对课题的科学难点开展系统和深入的研究, 在解决关键技术上取得显著的进展。这些关键

技术包括：地震前兆（特别是短临地震前兆）信息的识别、提取并建立其与未来地震三要素的关系；寻找识别前震与一般小震活动，前兆震群和前震序列与一般震群的标志，及早期判定地震序列类型的方法和指标；华北北部强震前兆时空分布的基本特征及其与震源演化过程和孕震环境的关系；以及华北北部短临前兆的数据库、知识库和短临预报推理软件系统等研制。以下简述最主要的科学技术进展。

(1) 研究建立了华北北部地震短临预报的指标体系。

其中包括短临阶段异常形态加速突变、异常频次急剧增加、异常的时空动态转移等一系列特征指标。

(2) 研究了各种前兆观测量与应力应变量的转换关系和短临预报方法。

进行转换的前兆观测量包括地形变、地电、地磁、地下水动态、水化学等，通过建立各种转换关系把它们分别转换成统一的应力应变变量，同时还研究了神经网络、应变场空间分布、“孤波”理论等新的短临预报方法。

(3) 把非线性科学成果应用于孕震系统总体演化过程的研究。

提出了前震序列在时间上的多分形结构，发展了地震序列类型判定的非线性方法。同时还探讨了利用小震源参数和介质参数对强震进行预测的新参数和新途径。

(4) 研究了应用于华北北部的新的地震短临预报方法。

其中包括电磁辐射、地下气体、地热和加卸载响应比等。通过研究，使这些新方法取得了若干典型震例。初步建立了排除干扰识别异常的方法和用于短临预报的判据、指标和预报方法。

(5) 研究并提出了地震孕育的坚固体模型。

从强震孕育、发生的基本条件出发（积能和失稳），结合华北北部地区的深部构造、力学分析、实验研究、观测事实等方面的证据，应用坚固体孕震模型解释了地震序列特性。

(6) 通过数值模拟对短临异常特征进行综合解释。

以短临阶段震源区介质软化和断层蠕动为基本物理过程，通过数值模拟对短临异常特征进行综合解释，取得了一系列有意义的理论结果。并通过对唐山地震前兆场时空演化的二维数值模拟，解释了唐山地震的孕震过程和前兆场的时空演化的非线性特征。

(7) 建立了一个适用于华北北部短临预报的数据。

其中包括观测资料、震例资料、地质地理底图及数据库管理系统和短临预报综合决策的方法库等。

(8) 研制了较为有效的用于地震短临分析预报的推理决策系统。

研制出一个比较完整、可较有效地应用于华北北部地区的地震短临预报的专家知识集，以及知识处理、短临分析预报方法和推理决策系统。与数据库一起，形成了华北北部地震短临预报计算机综合判别系统。

(9) 应用与问题。

课题所取得的上述诸方面的科技成果，已初步应用于华北北部乃至全国其他地区的地震短临预报。特别是1994年青海共和几次5~6级中强地震和1995年云南孟连中缅边界7.3级地震的较成功预报，极大地减轻了地震灾害，取得了良好的经济效益。实践表明，这些成果有实际应用和推广价值。

为了更好地聚焦于地震减灾，在课题设计中强调了三个结合。即研究与预报结合；现有预报经验的研究提高和新理论新方法研究结合；理论与研究和华北北部实际应用结合。在整个课题研究过程中，围绕着这三个结合进行课题组织，在边开展研究、边应用于预报，推进研究成果的实际应用方面有一定的进展。

但从更高的要求上看，在这三个结合方面尚有不足之处。例如，所研究的短临前兆新方法其在预报中实用化程度尚不够高；短临预报指标体系在实际预报中的应用还不够普遍；所研究的孕震模型和地震前兆综合解释模型也还有待于更进一步与实际逼近。此外，由于时间紧等原因，本课题所研究的华北北部地震短临预报综合判别系统也还未来得及在实际中连续应用并在实践检验中改进和提高。

总之，一方面本课题研究在短临预报的判据、指标和标志体系，在新方法、新理论和新技术等方面都取得了十分重要的进展，但另一方面，这些研究成果和进展都还需要在实践中不断检验，并通过检验不断改进、完善和提高。

第四节 强地震中短期（一年尺度）预报技术研究

“强地震中短期（一年尺度）预报技术研究”是国家“九五”重点科技攻关项目，其项目计划代码是：96—913。本项目共设9个课题，35个专题。

一、主要内容

（一）目的与目标

1. 主要目的

（1）确定并建立地震中短期前兆指标体系并给出其效能评价。

（2）研制数字化地震前兆观测技术系统并达到各项设计指标，在重点地区建立1~2个数字化地震前兆综合观测试验台网并投入运行。

（3）建立1~2个重点实验地区的中短期地震前兆和预报方法的试验模型。

（4）研究具有实用性的中短期地震预报动态图像技术系统和中期预报方法。

2. 基本目标

（1）通过上述研究，使重点地震监视防御区内强地震中短期预报的区域范围由原来半径200公里缩小到半径150公里左右，震级误差由 ± 1 级减小到 ± 0.5 级。

（2）在预报水平上，使其在具备相当监测能力的地区的强地震中短期预报由25%左右提高到35%左右，力争使发生在全国重点监视防御区的强地震的中短期预报水平达到40%，从而使我国中短期地震预报研究和实效继续保持世界领先水平。

（3）在华北及西南地区应用测震及各种前兆数据和本项目研究的各种中短期预报方法，进行全时空扫描，形成相当系统的测震、前兆及综合学科的中短期预报标志、预报方法、动态显示及效能评价体系，并结合本项目研究的理论模型，进行地震前兆特征及其与地震孕育过程物理关系的理论解释。

（4）研制完成数字化地震前兆观测仪器和软件，使这些仪器达到稳定、实用；建立山东地震前兆试验台网，使其成为实用的山东省数字化地震前兆台网，并将数字地震前兆观测仪器和山东数字地震前兆台网的研究成果应用于全国其他地区。

（5）在全面实现项目上述目标要求的基础上，力争再实现几次具有减灾实效的对中强以上地震比较成功的预报，为我国的防震减灾事业做出新的贡献。

（二）课题设置

1. 中短期前兆识别准则和评价研究

（1）各学科中短期地震前兆的识别方法及其标志体系，以及各学科中短期前兆异常特征与未来强震三要素的关系和预报效能。

（2）多学科中短期地震前兆异常的综合时空特征及其动态演化研究，以及前兆场特征演化与未来地震三要素的关系。

（3）中短期地震预报新技术、方法的研究，如遥感技术、CT技术、GPS方法。

（4）中短期前兆（测震学与非测震学）及其时空演化特征的岩石力学实验研究。

（5）重点地区的地震前兆数值模拟研究。

2. 中短期前兆仪器研制

（1）地震前兆信息检测技术的研究和地震前兆传感器的研制。

（2）数字化前兆遥测台网和地震前兆信息处理技术的研究。

（3）地震前兆观测方法和实验技术的研究。

3. 强震孕育中短期特征的研究及其实用化

（1）开展中国大陆地区和主要地震区的孕震模型和相应的动力学方程组的研究。

（2）开展强震震源孕育、演化过程的理论和实验研究。

(3) 结合单个震源和成组孕震模型研究源区的中短期孕震前兆特征和场区各种前兆的综合表现特征等。

4. 判定中短期地震危险区动态场及其跟踪方法研究

(1) 区域动态应力场及相关地球物理场演化的观测和反演方法及其与强震活动关系的研究。

(2) 地震活动及孕震体介质应力应变本构关系特征参数的时空演化图像与孕震过程中短期阶段关系的研究。

(3) 圈定地震中短期危险区的动力动态图像预报技术和方法以及圈定的危险区跟踪对比研究。

(4) 强震中短期预报动态图像显示技术系统的研制。

5. 中短期预报区防震减灾示范研究

6. 地质灾害监测预报与防治技术方法研究

7. 新疆伽师强震群成因及帕米尔东北侧强震预测研究

(1) 确定现今地壳运动在新构造运动中所处的价位, 研究不同构造变形区主要活动构造的基本变形特征。

(2) 揭示该区强震发生的深部构造孕震背景, 研究震源区地壳介质参数、性质和深浅构造关系。

(3) 确定主要活动构造带的三维地壳变形和运动图像以及不同构造区各主要活动构造的现今活动方式及运动速率, 并区分出所研究区域在大范围构造运动场中独特的运动方式与变形特征。

(4) 开展伽师强震群区及邻区强震序列时空演化图像、震兆特征及破裂特征等方面的地震学研究。在此基础上, 开展综合研究, 提出伽师强震群的孕震模式和成因解释, 建立不同构造系统的发震构造模式, 评价不同构造变形区的发震构造, 评估伽师及帕米尔东北侧地区未来强震的中、长期危险性。

8. 中短期前兆观测系统的完善与实用化研究

(1) 数字化地震前兆系统的完善研究, 主要包括: 伸缩仪、水管仪、体积式应变仪、磁通磁力仪、分量核旋、数字温度计和电磁波仪的强化研究; 测氦, 测汞, 电阻率, 电场, 跨断层等观测技术接口完善。

(2) 山东地震前兆试验台网完善。

9. 强地震中短期预报方法、理论及其应用研究

(1) 强地震中短期预报方法和理论在华北地区的应用研究。

(2) 强地震中短期预报方法和理论在西南地区的应用研究。

在本项目上述内容中, 除地震预报方面外, 还有地震前兆仪器研制、建网以及减灾等方面的内容, 下面仅介绍与中短期预报有关的课题实施和进展情况。

二、实施过程

1. 中短期前兆识别准则和评价

本课题研究大都是目前地震预报中急需解决和应用的问题, 也是广大地震预报人员普遍关心的问题, 因此参加本课题研究的科技人员大都是地震预报第一线的人员。据不完全统计, 参加本课题的科技人员有 200 多人, 来自中国地震局许多直属科研单位和省、自治区、直辖市地震局。

经过项目参加人员 4 年多的刻苦努力, 共发表论文约 150 多篇, 全面完成了各项研究任务, 取得了重大进展。项目所属课题和专题分别于 2000 年 11 月和 2000 年 8 月都顺利通过了中国地震局、科技部的验收。

2. 强震孕育中短期特征的研究及其实用化

各专题首先都结合自身的研究领域对国内外研究现状作了深入调研。课题负责人和各专题负责人对整个执行要求作了讨论和部署。执行期间结合管理部门各阶段的检查作了课题内部交流, 对研究工作中出现的问题作了必要的调整。

课题共完成各种实验约 260 个, 正式发表文章 119 篇, 待发表文章 9 篇, 参加或提交国际学术会议论文摘要 9 篇, 国内学术会议摘要 21 篇, 研究报告 19 份, 成果 16 项, 博士论文 7 篇。在 2000 年 8 月进行